

## СИСТЕМА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКИХ СРЕД

*Инж. ВОРОБЕЙ Р. И., кандидаты физ.-мат. наук ГУСЕВ О. К., КИРЕЕНКО В. П.,  
инженеры ТЯВЛОВСКИЙ А. К., ТЯВЛОВСКИЙ К. Л.,  
докт. физ.-мат. наук ЯРЖЕМБИЦКИЙ В. Б.*

*Белорусский национальный технический университет*

Автоматизация технологических процессов в химической, энергетической, пищевой промышленности требует непрерывного технологического контроля состава и концентрации различных жидких технологических сред, как правило, водных растворов кислот и щелочей, а также жидких пищевых продуктов, например напитков и молока. Особенность средств измерений (СИ) параметров жидких сред заключается в том, что повышение точности таких СИ связано в первую очередь со снижением погрешности рабочих эталонов, в роли которых выступают поверочные растворы – смеси веществ с известными (установленными или приписанными) значениями содержания компонентов смеси и характеристиками их погрешности [1].

Поверочные растворы с приписанными и установленными характеристиками погрешности готовят по аттестованным методикам с использованием разбавления стандарт-титров или объемного кислотно-основного титрования соответственно. Стандарт-титры имеют относительную погрешность 1 % и более, а в процессе разбавления или титрования погрешность поверочного раствора повышается в 2...3 раза. Точность поверочных растворов может быть повышена за счет их аттестации методами количественного химического анализа (например, весовым кислотно-основным титрованием), однако эти методы отличаются высокой трудоемкостью и дороговизной используемых реактивов, в связи с чем могут применяться только для проверки прецизионных и образцовых приборов. В соответствии с аттестованными методиками поверки МП.МН.53–94, 379–98, 772–99, для повер-

ки каждой предъявленной партии объемом не более пяти приборов используют свежеприготовленные растворы. Срок их хранения составляет для кислот и щелочей не более 10-ти суток, а для жидких пищевых продуктов – не более трех часов.

Это накладывает жесткие ограничения на производительность метрологических работ, ведет к увеличению их стоимости, ограничивает возможности проведения поверки по месту эксплуатации без прерывания технологического процесса. В условиях широкого внедрения (к 2002 г. производимые БНТУ СИ установлены на 25-ти молокоперерабатывающих предприятиях в различных регионах Республики Беларусь) указанные причины оказывают негативное влияние на качество метрологического обеспечения эксплуатации производимых СИ.

Одним из путей преодоления подобных проблем является автоматизация метрологической поверки.

Была исследована возможность замены поверочных растворов некоторым физическим объектом, имеющим стабильные характеристики и равноценным поверочному раствору в отношении взаимодействия с измерительными цепями поверяемого прибора, т. е. его эквивалентом. Исследования и опытно-конструкторские работы велись применительно к конкретному типу прибора – кондуктометрическому концентратомеру ИКР, однако их результаты могут быть применены к любым приборам технологического контроля, реализующим кондуктометрический принцип измерения, который сводится к преобразованию испытательного электрического сигнала в соответствии с закономерностью, опреде-

ляемой типом измеряемой среды. В качестве такого эквивалента может выступать электронная схема, программно осуществляющая указанное преобразование. Потенциальная погрешность такого эквивалента выражается формулой

$$\Theta_{\text{эв}} = k \sqrt{\Theta_{\text{обр}}^2 + \Theta_{\text{ср}}^2 + \Theta_{\text{эл}}^2},$$

где  $k$  – коэффициент, определяемый доверительной вероятностью  $p$  ( $k = 1,1$  при  $p = 0,95$ );  $\Theta_{\text{обр}}$  – погрешность рабочих эталонов (поверочных растворов);  $\Theta_{\text{ср}}$  – то же сравнения сигналов при настройке эквивалента;  $\Theta_{\text{эл}}$  – суммарная погрешность элементов электронной схемы эквивалента.

В техническом плане эквивалент поверочного раствора представляет управляемый (программируемый) преобразователь напряжение–ток, обладающий высоким (стремящимся к бесконечности) входным сопротивлением и стремящийся к нулю выходным. Благодаря этому устраняется погрешность, связанная с переходным сопротивлением контакта электрод–эквивалент, которое не только сравнимо с сопротивлением измеряемой среды, но в ряде случаев может и превышать его, причем величину этого сопротивления невозможно предсказать с достаточной точностью для каждого конкретного случая. Кроме того, возможность программирования коэффициента преобразования позволяет учитывать (имитировать) эффект двойного дипольного слоя, имеющий место в реальном растворе электролита и проявляющийся в виде систематического (зависящего от концентрации раствора и частоты измерительного напряжения) уменьшения реальной проводимости раствора по сравнению с ее теоретическим значением.

Расчет показал, что существующая элементная база позволяет обеспечить требуемую погрешность эквивалентов поверочных растворов при условии использования рабочих эталонов (поверочных растворов) повышенной точности. Исходя из этого была разработана и узаконена установка измерительная УИ ДКСКП ТУ РБ 100649721.027–2001, предназначенная для экспрессного проведения операций поверки и диагностики приборов ИКР. Помимо поверки прибора (с автоматической выдачей результата «годен–не годен»), установка обеспечивает ав-

томатическую диагностику неисправностей его отдельных блоков, а также благодаря возможности измерения промежуточных (внутренних) сигналов прибора может использоваться и при его настройке. Была разработана и методика приготовления поверочных растворов повышенной точности, используемых для настройки и поверки самой установки. Несмотря на значительно более высокую трудоемкость этой методики (по сравнению с растворами, предназначенными для поверки приборов ИКР), использование УИ ДКСКП оправдано при большом количестве поступающих на поверку приборов, поскольку в этом случае поверочные растворы приготавливаются только один раз в течение года (а не для каждой партии поверяемых приборов).

Создание и узаконивание УИ ДКСКП заложили технические основы повышения качества метрологического обеспечения (МО) СИ параметров жидких сред. Требования, предъявляемые современным законодательством в части лицензирования видов деятельности и сертификации продукции, стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений, нормативными документами органов санитарного и экологического надзора, равно как и требования, предъявляемые потребителями научно-технической продукции, обусловили необходимость осуществления комплекса научных, технических и организационных работ, а также разработки соответствующей нормативно-технической документации. В процессе реализации этих работ в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ сформировалась система МО СИ параметров жидких сред, ориентированная на поддержку всех стадий жизненного цикла СИ. Структура функционирующей в настоящее время системы отражена в табл. 1. В соответствии с принятой классификацией [2] элементы МО разделены на четыре основные составляющие: научные основы, технические основы, правила и нормы системы МО, организационные основы. В таблице показано, каким образом реализуются элементы метрологического обеспечения на различных стадиях жизненного цикла СИ от предварительных исследований до их серийного производства и эксплуатации.

В рамках организационных мероприятий по созданию системы МО на базе кафедры «Инфор-

Таблица 1

Содержание работ по метрологическому обеспечению средств измерений параметров жидких сред

Стадии жизненного цикла СИ							
Элементы МО	Исследование и обоснование разработки СИ	Разработка ТЗ	Разработка СИ	Постановка на производство		Серийное производство	Эксплуатация
				Подготовка производства	Освоение производства		
Научные основы	Получение новых знаний о физических явлениях и способах их применения в качестве принципов измерений и действия новых СИ. Разработка моделей объектов, методов и СИ. Определение предельной погрешности СИ					Сбор и обработка статистической информации по типовым МХ СИ	Сбор и обработка статистической информации по СИ в реальных условиях эксплуатации
Технические основы	Изготовление, исследование макетных, экспериментальных образцов (ЭО) СИ и документации. Изготовление поверочных расстановок для испытаний ЭО. Проведение исследовательских испытаний (ИИ) ЭО		Разработка КД, КД с литерой «О», «О <sub>1</sub> », ПС, РЭ, опытные образцы СИ. Поверочные расстановки, изготовленные по аттестованной методике. Предварительные (промышленные) и Государственные приемочные испытания (ГПИ). Испытания на пожарную безопасность. Санитарно-гигиенические испытания	Техническое обеспечение метрологической поверки СИ. Техническое оснащение метрологической службы (МС). Автоматизация метрологических работ	Разработка КД с литерой «А». Проведение ГКИ (совместных с квалифицированными испытателями)	Техническое обеспечение проведения ГКИ, ПСИ, первичной поверки СИ	Техническое обеспечение проведения ремонта и поверки СИ
Правила и нормы	Выбор номенклатуры нормированных метрологических характеристик (МХ). Выбор и опробование методов измерений при ИИ. Определение характеристик погрешности моделей объектов измерений, методов измерений, СИ и потенциальной погрешности СИ	Задание номенклатуры нормируемых МХ. Задание норм характеристик погрешностей СИ	Разработка методов измерений, контроля и испытаний при ГПИ, ГКИ, ПСИ и поверке. Аттестация МС. Проведение метрологической экспертизы документов. Согласование и утверждение ТУ	Разработка руководств по качеству (РК) МС. Проведение метрологической экспертизы документа		Актуализация РК. Корректировка и внесение изменений в ТУ и МП	
Организационные основы			Создание и аккредитация метрологической службы, обучение персонала. Лицензирование производства, ремонта, поверки. Разрешение Минздрава. Сертификация			Внутренние и экспертные проверки качества. Проведение анализа состояния МО. Обеспечение реализации актуализированных положений РК	

мационно-измерительная техника и технологии» и НИЛ полупроводниковой техники (ПТ) БНТУ был организован Центр метрологического обеспечения производства новых средств измерений НИЛ ПТ БНТУ (ЦМОПНСИ), зарегистрированный и аккредитованный в Системе аккредитации поверочных и испытательных лабораторий Республики Беларусь на право ремонта, обслуживания, первичной и периодической поверки производимых БНТУ средств измерений (аттестат аккредитации № ВУ/112.02.3.0.0033 от 26.05.1997), а также на право производства и реализации СИ (лицензия Госстандарта РБ № 864).

Разрабатываемые средства измерений создавались как единый комплект взаимодействующих технических средств, которые могут применяться как по отдельности, при решении частных задач, так и совместно, при решении задач комплексной автоматизации. Соответственно особое внимание на стадии разработки ТЗ и конструкции СИ уделялось обеспечению их взаимной совместимости (а также совместимости с существующими средствами и системами) и согласованности характеристик средств измерений, входящих в комплект, в том числе и метрологических характеристик.

Разработка и освоение производства комплекта осуществлялись в несколько этапов, начиная с создания узаконенных измерительных приборов, после чего были разработаны информационно-измерительные системы (ИИС), предназначенные для управления технологическими процессами и предусматривающие использование ранее разработанных средств измерений. В настоящее время в состав комплекта входят средства измерений типов ИКР, ИКР-2д, ИКР-М, АТР, ИИС СН, ИИС ИТС, краткое описание назначения и принципа работы которых приведены ниже.

Приборы технологического контроля кислотных и щелочных сред ИКР (трех модификаций) ТУ РБ 02071906.001–94 (с изменениями № 1 от 1998 г. и № 2 от 2000 г.) предназначены для экспрессного измерения массовой доли водных растворов едкого натра NaOH (щелочи), азотной кислоты HNO<sub>3</sub> (кислоты) и объемной доли молока (т. е. концентрации данных растворов) в трубопроводах молокоперерабатывающих предприятий. При соответствующей градуировке

приборы могут быть использованы и в других отраслях промышленности, где требуется измерение концентрации водных растворов электролитов с относительной погрешностью измерения порядка 3 % и менее. В частности, в модификации ИКР-2д приборы обеспечивают измерение концентрации водных растворов щелочи и кислоты с абсолютной погрешностью не более  $\pm 0,03 \dots 0,1$  % в диапазоне концентраций от 0,20 до 2,55 % и до  $\pm 0,005$  % при концентрации раствора 0,199 % и ниже. Три модификации приборов (ИКР, ИКР-2д, ИКР-М), прошедшие Государственные испытания и внесенные в Реестр СИ РБ в 1994, 1998 и 2000 гг. соответственно, различаются типами контролируемых растворов, диапазонами и допустимой погрешностью измерения. Функциональная схема прибора представлена на рис. 1. Принцип измерения приборов ИКР основан на преобразовании переменного электрического напряжения малой амплитуды (100...200 мВ) в ток в двухэлектродной кондуктометрической ячейке в условиях поляризации электродной системы. Концентрация раствора определяется прибором на основе анализа реализуемого при этом коэффициента преобразования.

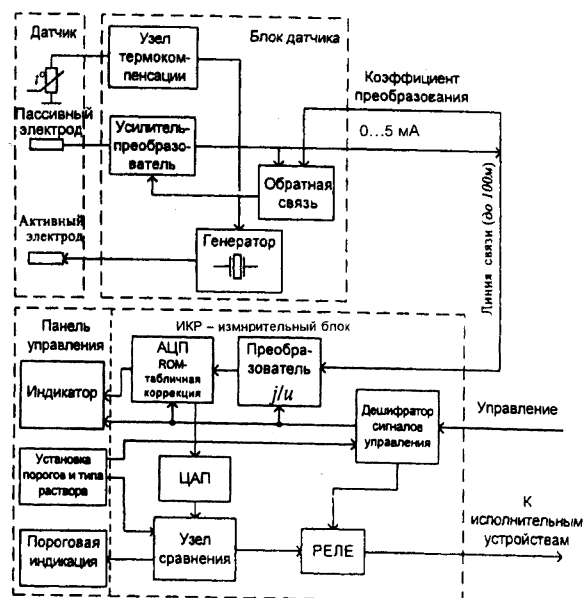


Рис. 1. Функциональная схема прибора ИКР

Анализатор типа раствора АТР ТУ РБ 02071906.013–97 предназначен для дистанционного определения типа моющего раствора «кислота–вода–щелочь» в технологических трубо-

проводах перекачки продуктов переработки молока и других пищевых продуктов. Разработке анализатора предшествовала научно-исследовательская работа, направленная на изучение переходных режимов работы кондуктометрической ячейки в условиях динамической поляризации электродной системы и изучение возможностей определения типа раствора на основе анализа динамики выходного сигнала ячейки. По результатам исследований определен наиболее перспективный принцип измерения, который в дальнейшем и был реализован в конструкции анализатора. Этот принцип основан на явлении сегрегации токов динамической поляризации при неравновесном возбуждении электродной системы кондуктометрической ячейки линейно изменяющимся напряжением. Выбранный режим возбуждения обеспечивает идентификацию типа раствора по признаку показателя pH среды на основе анализа мгновенных значений поляризационного тока. Структурная схема АТР представлена на рис. 2. Анализатор типа раствора предназначен, в основном, для использования в составе ИИС и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

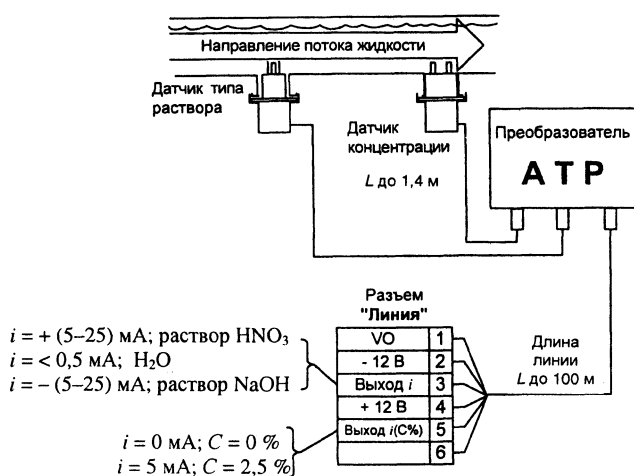


Рис. 2. Структурная схема АТР

Информационно-измерительная система станции нейтрализации ИИС СН ТУ РБ 02071906.014-97, структурная схема которой представлена на рис. 3, предназначена для управления процессом нейтрализации стоков санитарной обработки. На промышленных пред-

приятиях для целей санитарной обработки технологических трубопроводов и емкостей используются растворы щелочи NaOH и кислоты HNO<sub>3</sub>. Не пригодные для дальнейшего использования растворы поступают на станцию нейтрализации с тем, чтобы привести показатель pH сливаемых в канализацию стоков к допустимому значению. При создании ИИС СН была использована новая структурная схема организации процесса кислотно-основной нейтрализации, основанная на предварительном разделении потоков по показателю pH с использованием анализатора типа АТР. В состав ИИС СН включены также приборы технологического контроля ИКР-2д, используемые для автоматического ввода данных в системный блок ИИС. Процесс нейтрализации полностью автоматизирован и не требует присутствия оператора в помещении станции нейтрализации.

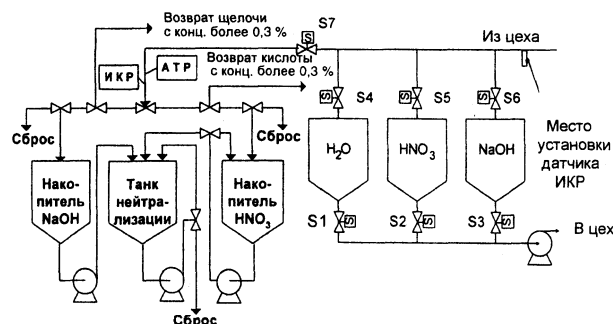


Рис. 3. Структурная схема ИИС СН

Информационно-измерительная система идентификации технологических сред ИИС ИТС ТУ РБ 02071906.015-99 осуществляет идентификацию типа и измерение концентрации водных растворов щелочи NaOH, кислоты HNO<sub>3</sub> и молока в трубопроводах молокоперерабатывающих предприятий. ИИС ИТС построена по параллельной многоканальной структуре (рис. 4). В ее состав включены как вновь разработанные функциональные блоки и датчики (оптоэлектронный датчик (ОЭД) оптоэлектронно-кондуктометрический преобразователь, системный блок), так и созданные ранее приборы (ИКР-М, АТР, датчик раздела сред (ДРС), датчики концентрации (ДК)). Таким образом обеспечивается преемственность и уменьшается техни-

ческий риск разработки новой конструкции за счет использования уже отработанных в производстве (в том числе и в серийном) элементов.

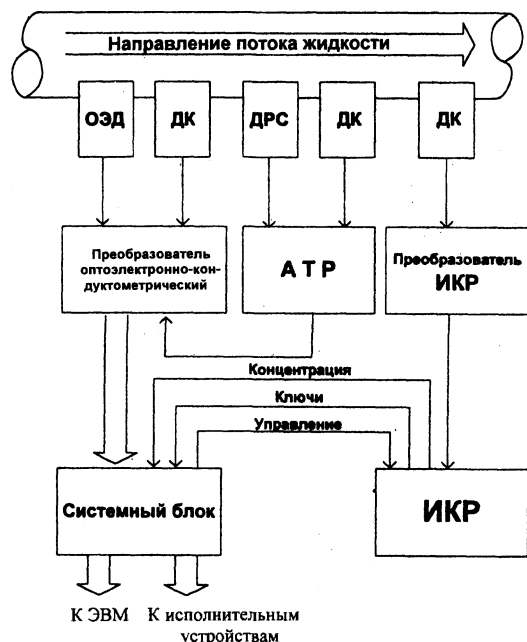


Рис. 4. Структурная схема ИИС ИТС

Из четырех указанных типов СИ первый прошел стадии НИОКР, подготовки производства, освоения, серийного производства. В настоящее

время в соответствии с Разрешением Минздрава РБ (удостоверение № 08-33-0.143734 от 28.06.2000) приборы ИКР эксплуатируются на 25-ти предприятиях молокоперерабатывающей промышленности Республики Беларусь.

Остальные три типа узаконенных СИ к настоящему времени прошли стадии НИОКР и подготовки производства.

Отметим, что описанные в статье мероприятия по метрологическому обеспечению средств измерений параметров жидких сред представляют систему взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов, находящуюся в непрерывном развитии. Дальнейшее совершенствование этой системы связано как с разработкой новых СИ в соответствии с требованиями предприятий-заказчиков, так и с анализом накопленного опыта эксплуатации ранее выпущенных и поставленных СИ и опыта функционирования системы в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. МИ 2336-95. Характеристики погрешности результатов количественного химического анализа. Алгоритмы оценивания.
2. ГОСТ 1.25-76. ГСС. Метрологическое обеспечение. Основные положения.

УДК 621.38.087.92

## ПОСТРОЕНИЕ АДП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 8051-СОВМЕСТИМЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Асп. ПЕТРОВ С. П.

Белорусский национальный технический университет

Адресно-аналоговые извещатели завоевывают широкую популярность на рынке охранно-пожарных систем. Это объясняется тем, что приборы данного типа позволяют с большей вероятностью и за более короткое время обнаружить очаг возгорания.

Для построения интеллектуальных адресных и особенно адресно-аналоговых пожарных извещателей идеально подходят микроконтроллеры.

Это обусловлено:

- возможностью сложной математической